

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-337236

(43)Date of publication of application : 07.12.2001

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

(21)Application number : 2000-159811

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 30.05.2000

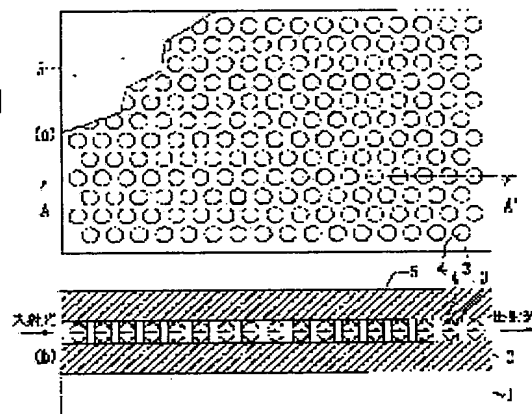
(72)Inventor : YOKOHAMA ITARU  
NOTOMI MASAYA  
ARAYA AKIHIKO  
TAMAMURA TOSHIAKI  
TOMARU AKIRA  
TAKAHASHI CHIHARU  
SUGITA AKIO

## (54) PHOTONIC CRYSTAL

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To solve such problems that propagation loss in the light propagating a conventional two-dimensional photonic crystal or in the light propagating a defective part of a conventional two-dimensional photonic crystal is high.

**SOLUTION:** The photonic crystal has a substrate 1, lower clad layer 2, light guide layer (3, 4) and upper clad layer 5. The light guide layer (3, 4) consists of a plurality of columnar parts (4) having a refractive index  $n_1$  arranged in the direction perpendicular to the substrate 1 and in a specified period between the lower clad layer 2 and the upper clad layer 5, and a part (3) having a refractive index  $n_2$  ( $n_1 \neq n_2$ ) possessing the space between the lower clad layer 2 and the upper clad layer 5 except the columnar part (4). The refractive index of the lower clad layer 2 is lower than both of the refractive indices  $n_1$  and  $n_2$ , and the refractive index of the upper clad layer 5 is lower than both of the refractive indices  $n_1$  and  $n_2$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

19.12.2001

[Date of sending the examiner's decision 27.09.2005  
of rejection]

[Kind of final disposal of application  
other than the examiner's decision of  
rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

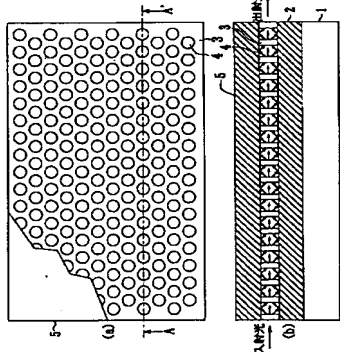
[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P) (12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-337236  
(P2001-337236A)  
(43)公開日 平成13年12月7日(2001.12.7)

(51)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	識別記号 F I G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)
(52)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(53)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(54)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(55)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(56)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(57)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(58)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(59)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(60)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(61)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(62)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(63)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(64)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(65)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(66)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(67)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(68)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(69)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(70)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(71)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(72)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(73)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(74)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(75)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(76)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(77)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(78)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(79)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(80)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(81)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(82)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(83)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(84)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(85)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(86)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(87)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(88)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(89)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(90)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(91)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(92)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(93)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(94)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(95)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(96)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(97)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(98)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(99)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	
(100)Int.Cl. G 0 2 B 6 / 12	特許出願公開番号 特開2001-337236 (P2001-337236A)	

(21)出願番号 特開2000-159811(P2000.5.30)	(71)出願人 00000428 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 横濱 至 東京部千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内 横濱 至 東京部千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内 100064621 井理士 山川 政雄
(22)公開日 平成12年5月30日(2000.5.30)	(72)発明者 横濱 至 東京部千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内 横濱 至 東京部千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内 100064621 井理士 山川 政雄
(23)発明者 横濱 至 東京部千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内 横濱 至 東京部千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内 100064621 井理士 山川 政雄	(73)発明者 横濱 至 東京部千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内 横濱 至 東京部千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内 100064621 井理士 山川 政雄
(24)代理人 井理士 山川 政雄	(74)代理人 100064621 井理士 山川 政雄
(25)発明の名称 フォトニク結晶	(75)発明の名称 フォトニク結晶



【要約】 従来の2次元フォトニク結晶中に伝搬する光、ならびに従来の2次元フォトニク結晶中の欠陥部を伝搬する光の伝搬損失が大きいという問題を解決する。

【解決手段】 基板1と、下部クラッド層2と、光を導波する層(3、4)と、上部クラッド層5とを備え、光を導波する層(3、4)は、下部クラッド層2と上部クラッド層5との間に基板1と直交する向きでかつ所定周期で配設された屈折率 $n_1$ の複数の柱状部分(4)と、下部クラッド層2と上部クラッド層5との間のうちの柱状部分(4)以外を占める屈折率 $n_2$ ( $n_1 \neq n_2$ )の部分(3)とで構成され、下部クラッド層2は、その屈折率が $n_1$ および $n_2$ の何れよりも低く、上部クラッド層5は、その屈折率が $n_1$ および $n_2$ の何れよりも低いものである。

に開し、特に光情報処理、光伝送等に用いられるレーザ、光導波路、光集積回路等の様々な光デバイス等を構成するためのフォトニク結晶に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 誘電体周期構造中の光は周期的振動を受け、周波数の分散関係が結晶中のバンド構造と同様なバンド構造をとることが知られており、このような誘電体周期構造はフォトニク結晶と呼ばれている。フォトニク結晶中の光の伝搬はバンド構造により決定されるため、結晶構造や周期的振動の大きさを制御することにより、その光学特性を設計することができ、フォトニク結晶の中で、柱状物あるいは空孔が基板上に周期的に形成される構造は、2次元周期的構造をもつことから2次元フォトニク結晶と呼ばれる。ほとんどの光デバイスは2次元フォトニク結晶で実現できる可能性があること、作製工程が3次元フォトニク結晶に比べて比較的容易であることから、作製および検討がなされている。

【0003】 理想的な2次元フォトニク結晶は、厚さ無限大の構造であるが、現実的には有限厚さの構造を取り扱わなければならないため、周期方向に対して垂直方向の光の閉じ込めが現実的には重要となる。垂直方向の光の閉じ込めを実現する方法として、柱状物あるいは空孔が周期的に形成されている構造を有する層を、柱状物あるいは空孔の厚さ部分を形成する媒質よりも低い屈折率を有する層で挟み込む構造(後述の従来の第一の構造)、または柱状物もしくは空孔の厚さ部分を形成する媒質よりも低い屈折率の材料を屈折率の低い材料で挟み込む構造を形成する構造(後述の従来の第二の構造)の主に2つが従来提案され、作製が行われている。

【0004】 従来の第一の構造のうち、空孔を形成する構造の上面図とそのH-H'線断面図を模式的図示する。基板S i 9 1上に、S i O<sub>2</sub>層9 2が形成され、さらにその上に上部S i 9 3が形成されたS O i (Si lean-on-insulator)基板を用い、上部S i 9 3にドライエッチングにより、周期的に空孔9 4が形成されている。この構造では、2次元の周期構造を有する上部S i 9 3(屈折率約3.5)を、屈折率の低いS i O<sub>2</sub>層9 2(屈折率約1.5)と空孔層(屈折率1.0)とで挟み込んでおり、垂直方向の光の閉じ込めを図っている。

【0005】 この例では、上部S i 9 3の厚さが0.2  $\mu$ m、S i O<sub>2</sub>層9 2の厚さが3.0  $\mu$ m、また空孔9 4の直径が0.3  $\mu$ m、3倍径を形成している空孔9 4の周期が0.4  $\mu$ mとなっている。この試料では、波長1.5  $\mu$ mの境界の振動方向が基板9 1面内では垂直である垂直偏光は、2次元の周期構造を有する上部S i 9 3を通過し、境界の振動方向が基板9 1面内に水平である水平偏光は、フォトニクバンドギャップのため2次元の周期構造を有する上部S i 9 3を通過しない。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、この基板上に形成された下部クラッド層と、この下部クラッド層上に形成された光を導波する層と、この光を導波する層上に形成された上部クラッド層とを備え、

前記光を導波する層は、前記下部クラッド層と前記上部クラッド層との間に前記基板と直交する向きでかつ所定の周期で配設された屈折率 $n_1$ の複数の柱状部分と、前記下部クラッド層と前記上部クラッド層との間のうちの前記柱状部分以外を占める屈折率 $n_2$ ( $n_1 \neq n_2$ )の部分とで構成され、

前記下部クラッド層は、その屈折率が前記 $n_1$ および前記 $n_2$ の何れよりも低く、

前記上部クラッド層は、その屈折率が前記 $n_1$ および $n_2$ の何れよりも低いことを特徴とするフォトニク結晶。

【請求項2】 請求項1に記載のフォトニク結晶において、

前記上部クラッド層は、前記複数の柱状部分の直上領域と前記屈折率 $n_2$ の領域の直上領域とで屈折率が異なることを特徴とするフォトニク結晶。

【請求項3】 請求項1または請求項2に記載のフォトニク結晶において、

前記下部クラッド層は、前記複数の柱状部分の直下領域と前記屈折率 $n_2$ の領域の直下領域とで屈折率が異なることを特徴とするフォトニク結晶。

【請求項4】 請求項1乃至請求項3の何れか一項に記載のフォトニク結晶において、

前記光を導波する層は、柱状物または空孔が基板上に周期的に形成された構造を有するとともに、この構造の一部に角周期性の欠陥部分を有することを特徴とするフォトニク結晶。

【請求項5】 請求項1乃至請求項4の何れか一項に記載のフォトニク結晶において、

前記屈折率 $n_1$ の柱状部分または前記屈折率 $n_2$ の領域のうち、屈折率の低い何れか一つの領域は、エポキシ系ポリマーからなることを特徴とするフォトニク結晶。

【請求項6】 請求項1乃至請求項5の何れか一項に記載のフォトニク結晶において、

前記上部クラッド層は、エポキシ系ポリマーからなることを特徴とするフォトニク結晶。

【請求項7】 請求項1乃至請求項6の何れか一項に記載のフォトニク結晶において、

前記下部クラッド層は、前記屈折率 $n_1$ の柱状部分と前記屈折率 $n_2$ の領域のうち、屈折率の低い何れか一つの領域の直下の領域がエポキシ系ポリマーからなることを特徴とするフォトニク結晶。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、フォトニク結晶

(4)

特開2001-337236

い。垂直偏光に対する透過損失を測定したところ30 dB/mmとなり、比較的大きな損失値となっており、ミリメートル (mm) オーダーでの光の伝搬を行うことが難しいものである。

【0006】従来の第一の構造のうち、柱状部を形成する構造物の上面は、その「1」の「横断面」を模式的に図1に示す。基板110の上に、SiO<sub>2</sub>層120が形成され、さらにその上に上層Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>層が形成されたSOL1基板であり、上層Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>層にドライエッチングにより、周期的に柱状103が形成されている。この構造では、2次元の空間構造を有する円柱103（柱断面積3.5）を、柱断面の低いSiO<sub>2</sub>層102（柱断面積1.5）と空孔（断面1.0）とで積み込んでおり、垂直方向の空間閉じ込みを図っている。

【0007】この例では、円柱103の厚さが0.2μm、SiO<sub>2</sub>層102の厚さが3.0μm、また円柱103の直径が0.16μm、3角格子を形成している円柱103の間の間隔が0.4μmとなる。この材料では、波長1.5μmの電界の運動方向が基板101の面に垂直である垂直偏光は、2次元の間隔構造を有する円柱103を透過し、境界の運動方向が基板101の面に平行な水平偏光は、フォニックバンド構造により円柱103を透過しない。しかし、垂直偏光に対する透過係数を測定したところ4.0dB/mmとなり、比較的大きな損失値となっており、mmオーダーでの光伝搬を行うことが難しい。

【0008】従来の第二の構造のうち、空孔を形成するに際し、下部A1GaAs層上にGaNを成長させ、その上へ上部A1GaAs層が形成され、さらにその上に上部A1GaAs層(厚さ0.4μm)が形成された基板に、ドラエッチングにより、図1的に空孔111(深さ1.0μm)が形成されている。この構造では、2次元の異方性を有する上部A1GaAs層(図1参照)が低く同じく2次元の異方性を有する上部A1GaAs層113(図1参照)より、図1的に空孔111が浅く低く一部が2次元の異方性を有する下部A1GaAs層114(図1参照)よりも浅く低く形成されるため、垂直方向の光の閉じ込めを図7にて示す。

【009】この例では、空気111の直径が0.3μm、3個格子を形成して空孔111の周期が0.4μmとなっている。この材料では、被膜1は、垂直方向の振動方向がGaAs層112の面に垂直であるため、振動方向がGaAs層112の面に垂直な透過損失を測定したとき、垂直振動方向のGaAs層112の面内に垂直な振動方向のGaAs層112の面内には透過損失が小さく、比較的に大損失となり、比較的に大損失とならない。また、水平方向の振動方向がGaAs層112の面内に平行な振動方向のGaAs層112の面内には透過損失が大きくなり、比較的に大損失となる。したがって、垂直振動方向のGaAs層112の面内に垂直な振動方向のGaAs層112の面内には透過損失が小さく、比較的に大損失となる。また、水平方向の振動方向がGaAs層112の面内に平行な振動方向のGaAs層112の面内には透過損失が大きくなり、比較的に大損失となる。

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するため、本願発明者らは従来構成の損失要因を検討した。そ

[illegible][illegible]

【0016】また、本発明はその他の組織として特に述べられていない構造を含むものである。すなわち、前記上部クラッド層<sup>n</sup><sub>上</sub>の層は、前記覆板の柱状部分の直上領域と、前記屈折率 $n_p$ の層<sup>n</sup><sub>下</sub>の層との間に位置して互いに異なる。また、前記下部クラッド層<sup>n</sup><sub>下</sub>は、前記覆板の柱状部分の下下領域と、前記屈折率 $n_{cl}$ の領域の下下領域とで区別される。また、前記屈折率 $n_{cl}$ の領域は、柱状物または空孔が連続した二つ間隔的に形成された構造を有するとともに、この構造の一対に周回性のある波動部分を有する。

【0017】また、前記屈折率 $n_1$ の柱状部分または傾  
起屈折率 $n_2$ の領域のうち、屈折率の低い方が一つの上  
部領域かつ、エポキシ系ポリマーからなる。さらに、  
前記下部領域は、エポキシ系ポリマーからなり、前  
記下部領域 $n_2$ の領域のうち、屈折率の低い側が一つ  
の上部領域の下側の領域かつエポキシ系ポリマーからなる。

【0018】このように構成することにより本発明は、2次元フォトリソニック結晶あるいは2次元フォトリソニック結晶欠陥導波路の伝播損失が大きいという問題を解決し、低損失2次元フォトリソニック結晶および低損失2次元フォトリソニック結晶欠陥導波路を実現することができ、様々なデバイスへの応用が可能となる。

【0019】  
【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図を用いて説明する。

[illegible][illegible]

【0022】第一の実施の形態の作製工程を図2に示す。

(a) S1層21上にSiO<sub>2</sub>層22が形成され、さらにその上にトップS1層23が形成されたSOI基板24を蒸着する。

(b) ドライエッチングにより、Niマスキ24の蒸着部分24aを除去し、Niマスキ24bを露出させる。その後、Niマスキ24bをエッチングして、Niマスキ24cを形成する。

(c) Niマスク24をエッチングにより除去する。

【0023】(d)  $\text{SiO}_2$  層 2 ならびに空孔の残存部分の  $\text{SiO}_2$  上に、エポキシ系ポリマーをスピコンテイングにより塗布し、その後硬化させ、空孔を埋め込んだエポキシ系ポリマー層 26 を形成する。

(c) ドライエッチングにより、空孔を埋め込んだエポキシ系ポリマー層26を空孔の残存部分のS i 2 5の先端部分をほぼ露出するまでエッチングし、空孔を充填した。

たエポキシ系ポリマー27を形成する。

(f) さらにその上に、フッ素化エポキシ系ポリマーをスピニングにより塗布し、硬化させ、上部クラッド層となるフッ素化エポキシ系ポリマー層28を形成する。

【0024】この試料では、波長1.5μmの境界の振動方向が基板51面内に垂直である垂直偏光は、2次元の周偏光を有する空孔以外の部分3と空孔を充填した部分4を透過し、電界の振動方向が基板1面内に水平である水平偏光は、フォトニックギャップのため2次元の周偏光を有する空孔以外の部分3と空孔を充填した部分4が形成され、さらにその上に上部クラッド層5が形成された構造となっている。第二の実施形態では、基板1はSiであり、下部クラッド層2はSiO<sub>2</sub>層(屈折率約1.5、厚さ3μm)であり、空孔を充填した部分4はGe系SiO<sub>2</sub>(屈折率約3.5、厚さ0.2μm)であり、周期的に形成された空孔以外の部分3はSi(屈折率約5.6、厚さ0.2μm)であり、上部クラッド層5はSiO<sub>2</sub>層(屈折率約1.5、厚さ3μm)である。

【0026】また、空孔を充填した部分4の厚さが0.3μm、3角格子を形成した周偏の空孔の周期が0.4μmとなっている。本構造においては、周期的に形成された空孔以外の部分3のSiが、周期的に形成される屈折率の低い部分になっており、周期的に形成された空孔を充填した部分4のGe系SiO<sub>2</sub>が屈折率の低い部分となっている。この結果、周期的に変化する構の屈折率の低い部分の屈折率をn<sub>1</sub>、屈折率の低い部分の屈折率をn<sub>2</sub>とし、下部クラッド層の屈折率をn<sub>3</sub>、上部クラッド層の屈折率をn<sub>4</sub>かつn<sub>1</sub><n<sub>2</sub><n<sub>3</sub>であり、かつn<sub>1</sub><n<sub>4</sub>かつn<sub>2</sub><n<sub>3</sub>かつn<sub>1</sub><n<sub>4</sub>かつn<sub>2</sub><n<sub>3</sub>の条件を満たしている。このため、第一の実施形態と同様に、図1の断面図に模式的に矢印で示したように、周期的構造の屈折率の低い部分の微視的構造においても屈折率による垂直方向の光の閉じ込められる構造となっている。

【0036】第四の実施形態の作製工程を図4に示す。

(a) AlGaAs層61上にGaAs層62が形成され、さらにその上にトップAlGaAs層63が形成された基板の上に、周期的構造を転写したNiマスク64を蒸着する。

(b) ドライエッチングにより、Niマスク64の蒸着されていないトップAlGaAs層63およびGaAs層62を貫通してAlGaAs層61の一部までに垂直孔を開け、空孔の残存部分を形成する。これにより、第一のコア層65、第一の上部クラッド層66、第一の下部クラッド層67が形成される。

(c) Niマスク64をエッチングにより除去する。

【0037】(d) 空孔を形成したAlGaAs層ならびに空孔の残存部分上に、第一の下部クラッド層の厚さである0.4μm厚だけスパッタリングによりSiO<sub>2</sub>を堆積し、第二の下部クラッド層68を形成する。このとき、第一の上部クラッド層66の厚さは0.2μm厚であり、第一の下部クラッド層68の厚さは0.2μm厚だけスパッタリングによりGe系SiO<sub>2</sub>を堆積し、第二のコア層65を形成する。

(f) さらに、第一の上部クラッド層の厚さである0.4μm厚だけスパッタリングによりSiO<sub>2</sub>を堆積し、第二の上部クラッド層610を形成する。

(g) 空孔の残存部分上の堆積物をエッチングにより除去する。

【0038】この試料では、波長1.5μmの境界の振動方向が基板51面内に垂直である垂直偏光は、第一のコア層52と第二のコア層55を透過し、電界の振動方向が基板51面内に水平である水平偏光は、フォトニックバンドギャップのため第一の7層52と第二のコア層55を透過しない。垂直偏光に対する透過損失を測定したところ5dB/mmとなり、従来構造に比べて、1

μm)である。また、円柱部分44の直径が0.16μm、3角格子を形成し周期的構造の円柱の周期が0.4μmとなっている。

【0031】本構造においては、周期的に形成された円柱部分43のSiが、周期的構造における屈折率の高い部分になっており、周期的に形成された円柱以外の部分を充填した部分44のエポキシ系ポリマーが屈折率の低い部分となっている。その結果、周期的に変化する構造の屈折率の低い部分の屈折率をn<sub>1</sub>、屈折率の低い部分の屈折率をn<sub>2</sub>とし、下部クラッド層の屈折率をn<sub>3</sub>、上部クラッド層の屈折率をn<sub>4</sub>としたとき、n<sub>1</sub><n<sub>4</sub>かつn<sub>1</sub><n<sub>2</sub><n<sub>3</sub>であり、かつn<sub>1</sub><n<sub>4</sub>かつn<sub>2</sub><n<sub>3</sub>かつn<sub>1</sub><n<sub>4</sub>かつn<sub>2</sub><n<sub>3</sub>の条件を満たしている。このため、図4の断面図に模式的に矢印で示したように、周期的構造の屈折率の低い部分の微視的構造においても屈折率による垂直方向の光の閉じ込められる構造となっている。

【0032】第三の実施形態の作製工程は、第一の実施形態と同一であり、Niマスクのパターンニングが異なるのみである。この試料では、波長1.5μmの境界の振動方向が基板41面内に垂直である垂直偏光は、2次元の周偏光を有する円柱部分43と円柱以外の部分を充填した部分44を透過し、電界の振動方向が基板41面内に水平である水平偏光は、フォトニックバンドギャップのため2次元の周偏光を有する円柱部分43と円柱以外の部分を充填した部分44を透過しない。垂直偏光に対する透過損失を測定したところ7dB/mmとなり、従来構造に比べて、1mmあたりで20dB以上の極めて大きな損失改善が得られ、本発明の効果が極めて大きいことが示された。本実施形態の試料は、mmオーダーでの光の伝播を十分に行うことができる構造である。

【0033】【第四の実施形態】本発明の第四の実施形態の構造を模式的に図5に示す。基板51上に空孔が周期的に形成され、空孔の残りの部分が、第一のコア層52と第一の上部クラッド層53と第一の下部クラッド層54からなり、第一のコア層52が第一の上部クラッド層53と第一の下部クラッド層54に挟まれる構造であって、空孔部分が、第二のコア層55と第二の上部クラッド層56と第一の下部クラッド層57からなり、第二のコア層55が第二の上部クラッド層56と第二の下部クラッド層57に挟まれる構造により充填されており、第一のコア層52と第二のコア層55がほぼ同一の平面内に存在している構造となっている。

【0034】この第四の実施形態では、基板51はAlGaAsであり、第一の上部クラッド層53はAlGaAs(屈折率3.0、厚さ0.4μm)および第一の下部クラッド層54はAlGaAs(屈折率3.0、厚さ0.4μm)であり、第一のコア層52はGaAs(屈折率3.5、厚さ0.2μm)である。また、第二のコア層55はエポキシ系ポリマー(屈折率1.6、厚さ



配置、かつ、上部クラッド層および下部クラッド層にも空孔を形成)の作製工程を示す模式図である。

【図7】本発明の第五の実施の形態の構造(直線状の穴)を示す模式図である。

【図8】本発明の第六の実施の形態の構造(角度60度の曲り穴)を示す模式図である。

【図9】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置、かつ、上部クラッド層および下部クラッド層にも空孔を形成)を示す模式図である。

【図10】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置)を示す模式図である。

【図11】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置、かつ、上部クラッド層および下部クラッド層にも空孔を形成)を示す模式図である。

【図12】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置)を示す模式図である。

【図13】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置)を示す模式図である。

【図14】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置)を示す模式図である。

【図15】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置)を示す模式図である。

【図16】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置)を示す模式図である。

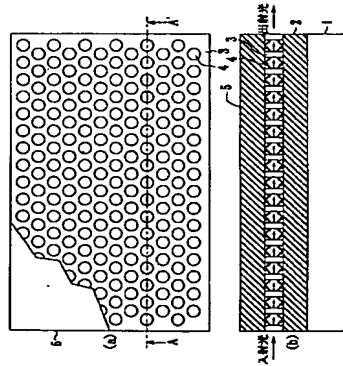
【図17】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置)を示す模式図である。

【図18】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置)を示す模式図である。

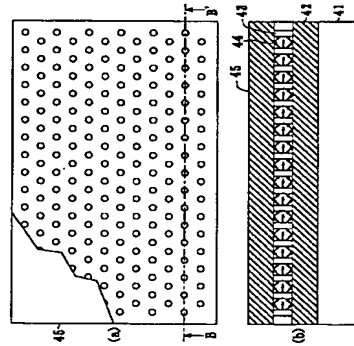
【図19】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置)を示す模式図である。

【図20】従来の2次元フォトニック結晶の構造(図1に空孔を配置)を示す模式図である。

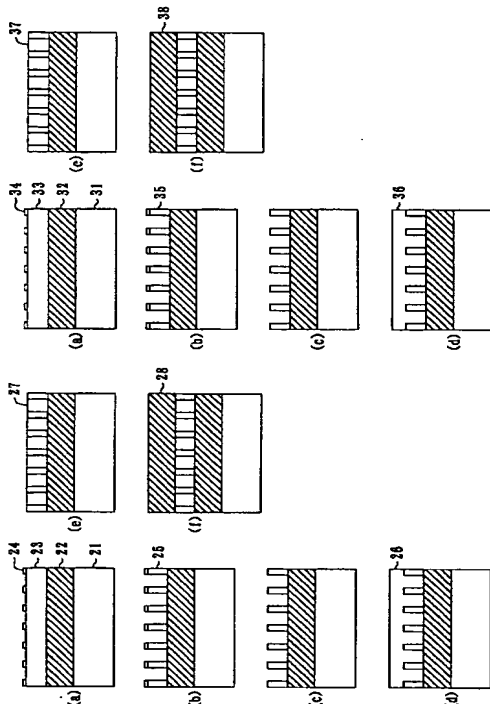
【図1】



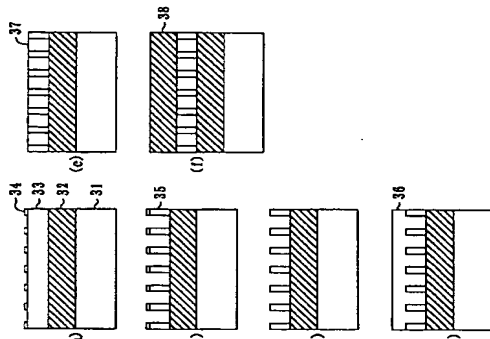
【図4】



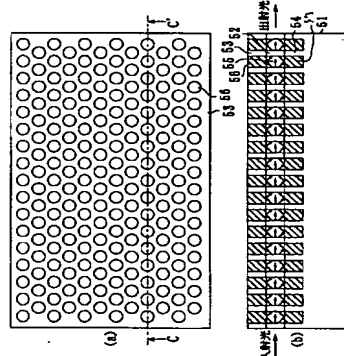
【図2】



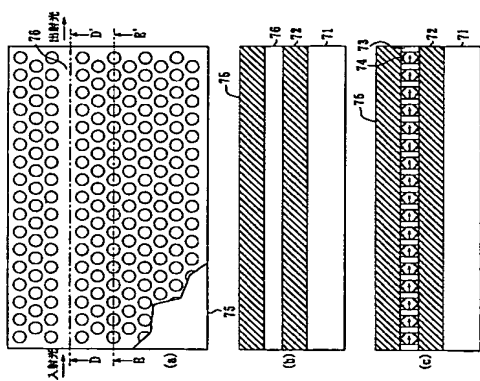
【図3】



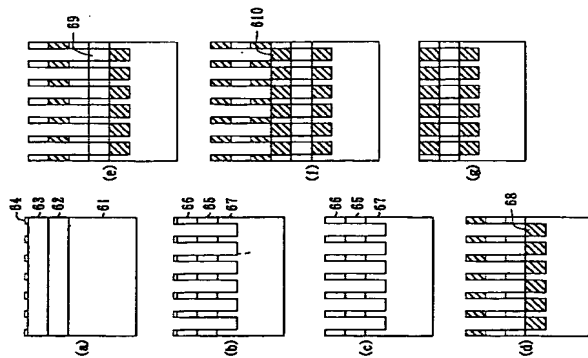
【図5】



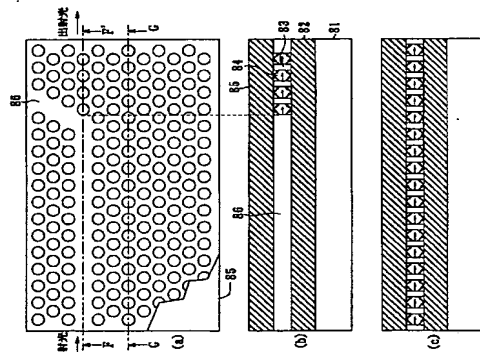
【図7】



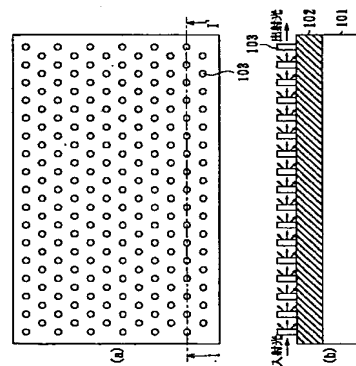
【図 5】



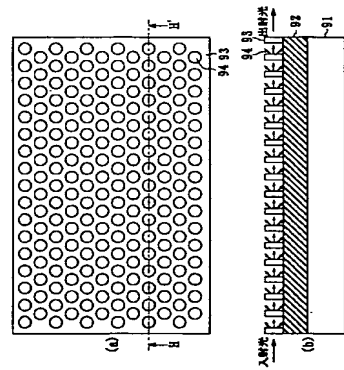
【図 6】



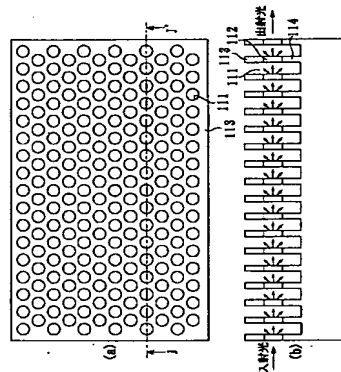
【図 10】



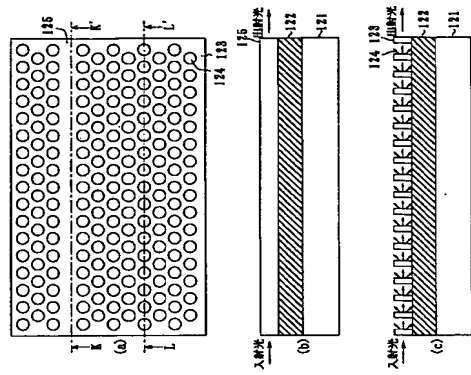
【図 9】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者	新倉 昭彦	(72)発明者	徳丸 暁
	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日 本電信電話株式会社内		東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日 本電信電話株式会社内
(72)発明者	玉村 勉昭	(72)発明者	高橋 千春
	東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日 本電信電話株式会社内		東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日 本電信電話株式会社内
(72)発明者		(72)発明者	杉田 彰夫
			東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日 本電信電話株式会社内
			Fターム(参考) 21047 M01 M11 Q005 Q007



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**